



MAXI による X 線トランジェント MAXI J1820+070 と Swift J0243.6+6124 の観測

志達 めぐみ(愛媛大), 杉崎 瞳(東工大), 中平 聰志(理研), 山田 智史,
上田 佳宏(京大), 川室 太希(NAOJ), 根來 均(日大), 橋 優太朗, 大枝 幹,
河合 誠之(東工大), 三原 建弘(理研), 牧島 一夫(東大), 中島 基樹(日大)



MAXI による X 線天体 MAXI J1820+070 と Swift J0243.6+6124 の観測結果を報告する。
MAXI J1820+070 は 2018 年 3 月に発見されたブラックホール候補天体であり、発見直後と 7 月に急増光を示した。2 度目の増光時には降着円盤の状態遷移が観測された。Swift J0243.6+6124 は 2017 年 10 月に MAXI と Swift がほぼ同時に発見した Be X 線連星パルサーで、連続監視観測の結果、1 ヶ月後には中性子星エディントン光度の 10 倍にも達し、パルス波形、X 線スペクトルに変化が見られることがわかった。

MAXI J1820+070

Shidatsu et al. 2018, ApJ, in press
Shidatsu et al. submitted to ApJ

MAXI J1820+070 は、2018 年 3 月 11 日に発見されたブラックホール (BH) 候補天体であり (Kawamuro et al., ATel #11399)、米国 Swift 衛星の追観測により、その位置が $(RA=18^{\circ}20'21.88'', Dec=+07^{\circ}11'08.3'')$ と決定された (Kennea et al., ATel #11406)。

発見から ~10 日間は急増光し、その後徐々に減光した。その間、ハードネス比はほぼ一定の高い値を示した (図 1)。その後、6 月末 (MJD~58290) から再増光し、2-20 keV の X 線強度が ~2 Crab に達した後、再び減光に転じた。ハードネス比はこの再増光中に急減し、その後 9 月末 (MJD~58390) に再び始めのレベルまで増加した。アウトバースト全体では、ハードネス比 - X 線強度図上で、同種の天体でよく見られる q 型の軌跡を描いた (図 2)。

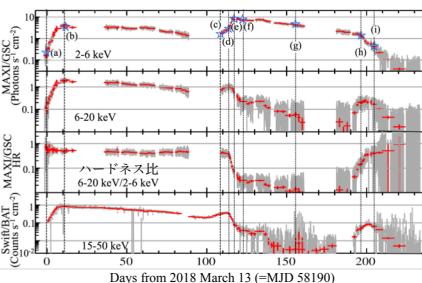


図 1. アウトバースト全体の X 線強度・
ハードネス比の変動

図 3. X 線スペクトルの変化

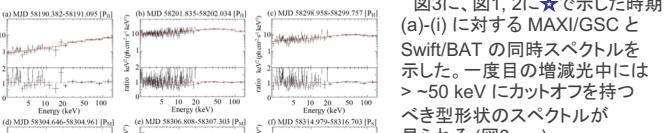


図 3に、図 1, 2 に★で示した時期 (a)-(i) に対する MAXI/GSC と Swift/BAT の同時スペクトルを示した。一度目の増減光中には > 50 keV にカットオフを持つべき型形状のスペクトルが見られる (図 3-a)。

増増光時には、ハードネス比の減少とともに、標準降着円盤からの熟放射と見られる軟 X 線成分が現れ、べき型成分の割合が減少している (図 4 d 以降)。この結果から、二度目の増光中に高溫の降着流から標準円盤への状態遷移が起ったことがわかる。

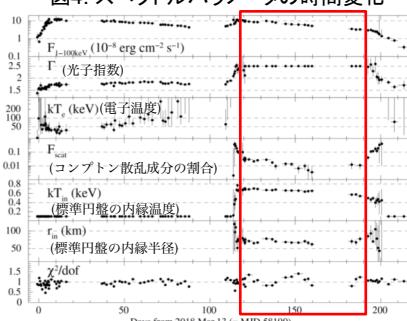
アウトバースト中に得られた MAXI/GSC と Swift/BAT の全スペクトルに對して、標準円盤からの放射成分とそのコンプトン散乱成分を模擬したモデル (simpi × diskbb) を適用し、パラメータの時間変化を調べた (図 4)。

その結果、

- ハードネス比の低い時期 (図 4赤) には、標準円盤の内線半径 (r_{in}) はほぼ一定で、 ~ 60 km (距離 3 kpc, 軌道傾斜角 60 deg, 無回転 BH を仮定) であった。これは、標準円盤が BH の最内線安定円軌道まで安定に存在していたことを示唆する。

初回・二度目の増光時の 1-100 keV のビーグーク度はほぼ同じであった。一方、降着円盤の状態遷移は二度目の増光時にしか起こらなかった。放射効率が一定であったと仮定すると、この結果は、標準円盤への状態遷移は質量降着率のみでは決まらないことを意味する。

図 4. スペクトルパラメータの時間変化



Swift J0243.6+6124

Swift J0243.6+6124 (以下、Swift J0243) は、2017 年 10 月に銀河面銀経 136 度に新たに見つかった Be/X 線連星パルサーである。MAXI でも、Swift 衛星とほぼ同時に、既知天体 LS I+61 303 の近くに X 線源が現れたことを確認していたが、分離同定はできなかった。その後、Swift XRT の追観測と Fermi GBM データの周期解析から 9.86 秒のパルス周期を持つことがわかり、可視光の対応天体として Be 星が見つかったことから、Be 星連星パルサーと判断した。Swift J0243 はその後 4 ヶ月で渡って X 線アウトバースト活動を続け、最大光度は銀河系内の明るい標準光源であるカニ星雲の 7 倍 (7 Crab) にまで達した。連星起動周期はハーフ周期のドッパー変調から 28.3 日と求められた。

この天体の距離に関して、2018 年 6 月に公開された Gaia DR2 で $7(\pm 2)$ kpc と精度良く求まり、等方的な放射を仮定すると、最大 X 線光度は 2×10^{39} erg s $^{-1}$ に達することがわかった。これは、典型的な 1.4 太陽質量の中性子星のエディントン光度の 10 倍に相当し、放射メカニズムが問題になつている超高度 X 線パルサー (Ultra-luminous X-ray pulsar) に分類されることを意味する。このような天体は系外銀河には 5 例程度見つかっていたが、我々銀河系の天体としては初めてになつた。

Swift J0243 の X 線観測については、これまでに NuSTAR, Swift XRT, NICER, Fermi GBM の結果が報告されている (Jaisawal et al. 2018, Tsygankov et al. 2018, Wilson-Hodge et al. 2018)。特に最大光度時にはこれらの観測装置の光度帯域に対して明る過ぎるためにパイルアップの問題が生じ、正確な情報を得ることが難しかつた。そこで、我々は MAXI の連続モニタ観測で得られたデータを用いて、アウトバースト中の X 線放射の変化を解析した。その結果、以下のことがわかった。

① X 線光度とハードネス比は、アウトバースト期間を通じて全般的に逆相関を示す (図 1)。Eddington 光度を超えた辺りからは特に顕著になる。X 線スペクトルは、高エネルギー側にカットオフがある光子指数 ~ 1 の幕函数と 6.4 keV の鉄 Kα 線輝線で表されるが、ソフト成分に温度 ~ 1 keV の黒体放射で表せるような超過の傾向があり、Eddington 光度を超えるような明るい時期には有意に必要となる (図 4)。

② パルス波形は X 線光度に依存する (図 2, 3)。Eddington 光度を超えた辺りからは滑らかな二つの山の様な構造になり、全放射に占めるパルス変動成分の割合が光度と正の相関を示すようになる。

③ X 線光度とパルス周波数変化率 (Spinup 速度) は比例関係に近い単調な正の相関を示しており、Ghosh & Lamb 1979 による降着トルクモデルを適用すると、磁極の表面磁場強度は 1.2×10^{12} G と見積もられる (図 5)。これは X 線連星パルサーでサイロトロン共鳴構造を用いて測られた典型的な表面磁場と一致する。

これらの特徴は、同じ Be 連星パルサー X0331+53 が Eddington 光度に達するアウトバーストを起こした時に見られた傾向と良く似ている。X 線連星パルサーは、伴星からの物質がパルサー磁気圏に入ると磁力線に沿って磁極に降着し、そのエネルギーを X 線放射しているものと考えられている。Eddington 光度近傍で観測されるこのような振る舞いは、降着率に応じてプラズマ中の相互作用がケーロン散乱から輻射圧に優勢な状態に変化したというシナリオが提案されている。この仮説をそのまま Swift J0243 に適応すると、表面磁場が 10^{13} G 程度であることになり (Wilson-Hodge et al. 2018)、X 線光度とパルス周期変化率から見積もられた磁場強度と合わない。本天体から得られた情報は、ULX パルサーの放射の問題を解明するために重要と考えている。

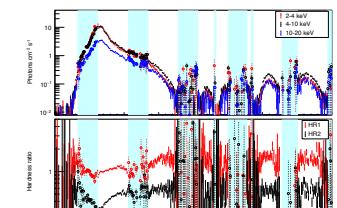


図 1. MAXI GSC による X 線ライトカーブ (上) と ハードネス比 (下)

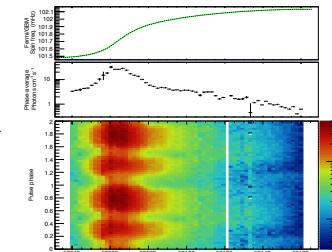


図 2. 最初の巨大アウトバースト中のスピン周波数 (上), パルス平均 X 線強度 (中), パルス波形 (下) の遷移

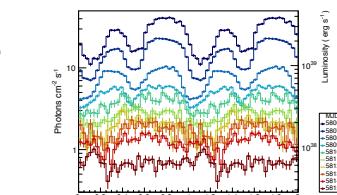


図 3. アウトバーストピークから 10 日毎のパルス波形

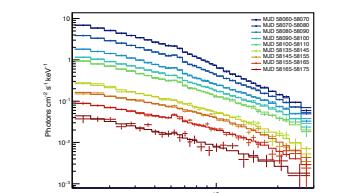


図 4. アウトバーストピークから 10 日間毎に蓄積した X 線スペクトル

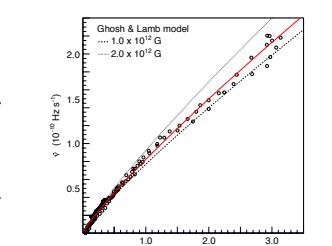


図 5. 観測された X 線光度とスピン周波数変化率の関係と Ghosh & Lamb 1979